

簡単な正イオンの発生源とその応用について

庄 田 新 一・斎 藤 寿 良

工 学 部 電 気 工 学 科

概 要

炭化珪素質電気発熱体に電流を通じたときに発生する熱イオンについて調べた結果をのべ、つぎにその正イオンを用いることにより、摩擦によって負に帯電させられる絹糸の静電気の除去を試みた実験結果についてのべた。

1. まえがき

イオンに正負両極性のあることは周知の事実であるが、空気中において負イオンだけを単独に発生できる方法は知られていない。しかし電熱線を熱することにより正のイオンのみを発生させることは相当古くから知られている。⁽¹⁾

白金線に電流を通じてこれを熱したときに、その白金線から正の熱イオンが放出されることについての報告⁽²⁾もあり、またニクロム線に電流を通じて熱したときに正イオンが放出されることも知られておる。しかし、これらの正イオンは電圧が印加されてしばらくの間は相当量放出されるが、だんだん放出量が減少してゆく傾向がある。これを防ぐ一方法としてニクロム線ヒーターに水ガラスをつけて正イオンの放射量の減少を防ぐようにし、その正イオンによりエナメル線のピンホールをしらべる方法が考えられている。

我々は炭化珪素質電気発熱体に電流を通じて赤熱した場合相当多量の正イオンが発生し、また長時間にわたって正イオンの放出が持続し安定であることを見出した。

一方前々から当地における絹織物の工程中、とくに絹糸の整作作業の過程において静電気の発生により種々の障害をうけるので、静電気の防止や除去についても考究しつつあった。しかるに、絹糸は大抵の物質と摩擦することによって負に帯電させられるので、正イオンを用いて絹糸上の負電荷を中和することができるのではないかと考えて実験を行ったのである。

この報告では最初に炭化珪素質電気発熱体より発生する熱イオンについての測定結果をのべ、つぎに各種の物質と摩擦することにより絹糸上に発生する静電気についての実験結果をのべ、最後に炭化珪素質電気発熱体から放出される正イオンにより、絹糸上の負極性の静電気が中和される状況についてのべることにする。

2. 炭化珪素質電気発熱体から放出される正イオン電流の測定⁽³⁾

白金線を熱した場合に正イオンが放出される原因については、白金中に含まれる微量の不純物とくにナトリウムやカリウムが正イオンとなって放出されるためと報告されている。⁽²⁾

一方、我々が使用した炭化珪素質電気発熱体は炭化珪素を主成分として焼き固めたものであり、白金線を熱したとき正イオンが放出されるのはナトリウムやカリウムのような不純物が含まれているためと考えれば、この発熱体では各種の物質を相当量含んでいるとし

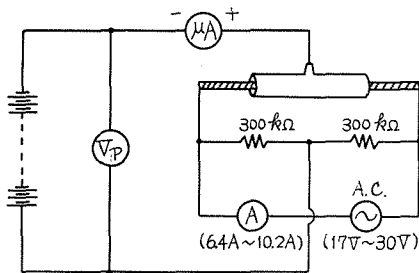
なければならないので、白金同様の放出機構を含有不純物に求めるのが困難であるので、ここでは何が正イオンとして放出されるかについてふれることはさけ、ただ単に炭化珪素質電気発熱体を熱したときに放出される正イオン電流を測定するにとどめた。

2.1. 炭化珪素質電気発熱体

試料として用いた炭化珪素質電気発熱体は、商品名をテコランダムと称するものと、シリコニットと称するものである。これらの規格は種々あるが我々が実験に使用したものはつぎのようなものである。

直径：8 mm ϕ , 発熱部長さ：100 mm
 全長：300 mm , 発熱部面積：25 cm²
 定格電圧：35V , 定格電力：0.44 kW ($\pm 15\%$)

2.2. 正イオン電流測定装置



第1図 テコランダムヒーターの正イオン放出電流測定装置

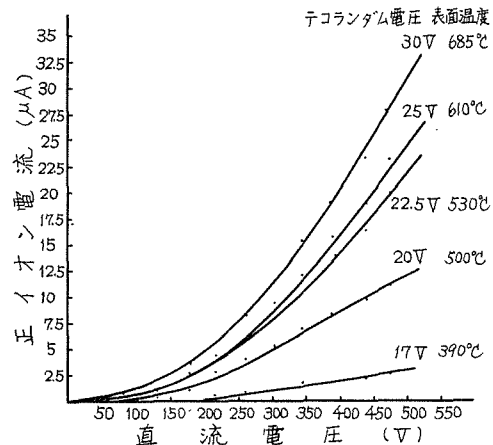
第1図に示すような回路で正イオン電流の測定を行った。これは丁度二極真空管の $E_p - I_p$ 特性を求めるのと同じような方法であるが、ただこの場合は発熱体が陽極に相当しており、発熱体の発熱部の周囲をつつんでいるトタン製の円筒が陰極にあたることになる。また発熱体を熱するために加える電圧は交番電圧なので、発熱体の電気的中性点から正極性の電圧を印加するようにしてある。なお測定時には同時に発熱体の表面温度も熱電対温度計で測ることにした。

2.3. 実験結果

発熱体に印加する電圧をスライダックで変化し、同時に発熱体とその周囲のトタン製の円筒間に加える直流電圧を色々に変えることによって第2図に示したような測定結果がえられる。

この図に示した結果は発熱体としてテコランダムを用いたときの代表的な例の一つであり、シリコニットを用いたときはこれよりやや少ないようであった。正イオンの放出量の多いことと、入手しやすいために以下の実験では主としてテコランダムを試料として用いることにした。

正イオンの量を調べるのにはこのような正イオン電流の測定以外に、発生する正イオンの数を直接測定する方法もあるが難かしい技術を要するし、今我々が目的としているのは多量の正イオンが発生することをしればよいので、ここにのべたように正イオン電流の測定を行って正イオンが相当量発生している事実



第2図 テコランダムヒーターの正イオン放出電流値

を確めたのである。

つぎに正イオン放出の安定性をしらべるため、発熱体に約5時間連続通電をし、第1図の方法で正イオン電流の測定を続けて行って見たがほとんど電流値の変化がみられず、したがって正イオン放出の安定性は非常によいといって差支ないだろう。

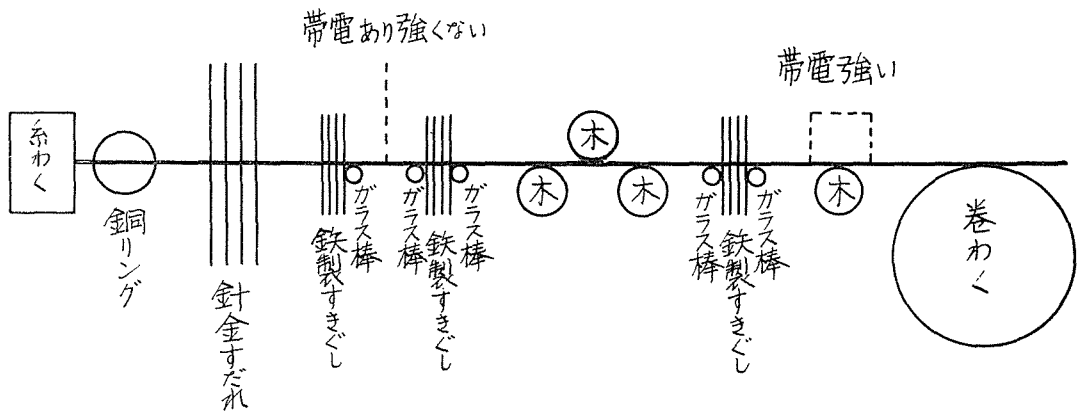
3. 絹糸の帯電現象とその測定⁽⁴⁾

繭をほぐしたままの生糸はその表面にセリシンが付着しているため、他の物質と摩擦しても静電気を発生することは少ない。しかし、この生糸を精練したいわゆる絹糸が静電気をおびやすい事は相当古くから知られており、電磁気学においても静電気現象の例としてよくのべられている。

我々は絹糸の静電気障害防止を研究するにあたって、まず最初に精練した白い絹糸を酸性染料（シルクファストブラック）で黒く染めたものについて静電気の発生の程度を調べることにした。

この黒く染めた絹ねり糸は輸出用絹織物のたて糸に使用されているが非常に静電気をおびやすく、そのため空気の乾燥する4、5月には取扱いが困難となり、はなはだしいときには作業を行うことができない場合もある。染色しない白色の絹ねり糸でも静電気をよく発生するが、この黒色の絹ねり糸は入手が簡単なことと同時に現場の要求もあったので実験に用いることにした。

たて糸をそろえるために整経⁽⁵⁾を行うがその工程の順序の概要を第3図に示す。巻き

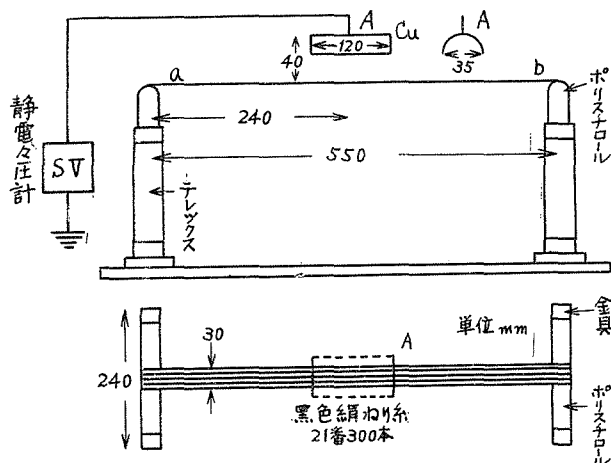


第3図 整経作業の工程

わくに糸をまきとる前に鉄製のすきぐしを通すが、このとき鉄のすきぐしと絹糸との間の摩擦によって静電気が発生し、絹糸は互に同種の電荷によって相反撥され、糸をそろえて巻きとることができなくなり、作業が不可能になることがある。

このような静電気障害の対策を考えるには、最初にどんな物質と摩擦したときどの程度の大きさの静電気が発生するかを調べる必要がある。

3.1. 実験装置と実験方法



第4図 絹糸の摩擦帯電量測定装置

第4図に実験装置を示した。図の電極 A の直下約 22.5mm の場所を、同一の実験者が一定の方向にできるだけ一定の速度で一回摩擦する。これは手の感覚のことゆえ個々の値には相当のばらつきを生じるが、圧力はおよそ 400～700g の重さ、速度は約 200～400 cm/sec 程度である。

この摩擦を行ったときの静電電圧計の指示を読み、静電気が測定される。すなわち静電誘導法により静電気が測定される。この電圧

値から電荷量を求めるには、静電電圧計の高圧側端子の絶縁はきわめてよく実用上は漏れないものと考えられるので

$$Q = \frac{C_0 C_1 + C_1 C_2 + C_2 C_0}{C_1} V$$

Q : 絹糸の電荷量, V : 静電電圧計の読み

C_1 : 絹糸と測定用電極間の静電容量

C_0 : 絹糸と大地（接地導体を含む）間の静電容量

C_2 : 測定用電極と大地（接地導体を含む）間の静電容量

によって計算すればよいが、一般には C_0 , C_1 を決めることは困難なことが多い。ここでは絹糸と測定用電極 A の空間の配置を一定にしておけば、 C_0 , C_1 は変らないものと考えることができ電荷量の比較はできることになる。したがって今後この報告では静電電圧計の読み、あるいは集電式電位計⁽⁶⁾の読み的大小で電荷量の比較をすることとする。しかしながら既に報告⁽⁷⁾したように、この静電電圧計の読みと静電容量したがって電荷量は比例しないことは注意する必要がある。

絹糸と色々の種類の物質とを摩擦した際絹糸に発生する電荷の極性は静電電圧計ではわからない。したがって極性をしらべるためには、電磁気学で定められているように、絹布とガラスを摩擦したときガラスに発生する電荷を正とし、毛織物とエポナイトを摩擦したときエポナイトが負に帯電するものとして、この二つの方法を標準にして電荷量の極性を定めた。

絹糸は黒色に染めたねり糸で、21 デニールの太さで二本よりのものである（以下単に絹糸という）。実験ではこの絹糸を 300本とり、かさならないようにひろげてポリスチロールの棒にかけた。ポリスチロールの棒は絹糸に発生した電荷が表面から漏れないようにするため用いた。

絹糸を摩擦する物質は、表面を清浄にした直径 70 mm, 厚さ 0.4～2 mm の円板（亜

簡単な正イオンの発生源とその応用について

鉛，鉛，鉄，銅，錫，真鍮，ニッケル，アルミニウム，ニッケルメッキ鉄板，エボナイト，磁器，ガラス，木），直径 6.3 mm，長さ 202 mm のタングステン棒，外径 10 mm，内径 8 mm，長さ 280 mm の銅パイプ，外径 13.9 mm，内径 9 mm，長さ 350 mm のガラス管等である。

3.2. 実験結果

(1) 絹糸に発生する電荷の正負

温度 10.5～24.0℃，湿度 52～77% の範囲で新しい絹糸と，亜鉛，鉛，銅，ニッケル，アルミニウム，錫，ステンレススチール，ガラス等と摩擦する場合には絹糸は負に帯電し，エボナイト，ポリスチロール，セルロイド，酸化銅等とでは絹糸は正に帯電することがわかった。ただしここでいう酸化銅とは，銅をよくみがいた後，3～4日間室内に放置しておき表面がさびた状態のものをいうことにした。

絹糸と銅の組合せでは絹糸が負に帯電し，絹糸と酸化銅とでは絹糸が正に帯電をし，酸化という現象で帯電の極性が逆転することを示しているのは注意すべき結果である。摩擦する物質の表面の酸化で帯電の極性が逆転することは，Thomas⁽⁸⁾により石炭と金属の摩擦帯電の際にあらわれることが示されている。

(2) 絹糸に発生する静電気の大小

前述した方法で行った実験の結果の平均を第1表に示した。絹糸は約100回摩擦するご

第1表 絹糸を摩擦したときの帯電量(発生電圧)

温度：17.5～26.5℃ 湿度：63～81%

使用物質	実験回数	平均値	絹糸の極性	使用物質の形
亜鉛	200	600V以上	負	板
鉄	200	440	"	板
銅	120	435	"	棒
ガラス	160	320	"	板
ニッケル	100	280	"	板
鉛	100	270	"	板
錫	100	210	"	板
タングステン	50	90	"	棒
酸化銅	50	80	正	棒
エボナイト	75	280	正	板

註：酸化銅以外の物は表面を清浄にして使用。

酸化銅は銅をよくみがいた後，3，4日室内に放置したものである。

とに新しい糸にとりかえはしたが，実験の初めと終りでは糸の状態は異なり，また一定の圧力，一定の速度とはいっても，手の感覚のことゆえ，個々の測定値には相当のばらつきがある。しかし全体としての平均値の大小の傾向は第1表に示すようになる。もちろん使用物質の形で発生帯電量も変るとは思われるが，帯電量の大小の一応の目安としてはこの表の順序は意味をもつだろう。

この表から実際の整経機で絹糸が作業中に帯電させられるのはほとんど負極性であるこ

とがわかる。とくに今問題とされている巻きわく直前は、鉄製のすぎぐしとの摩擦のため相当大きな負の電荷を絹糸がもつことになるだろう。また絹糸と摩擦しても静電気の発生にくいものはタングステンとさびた銅の棒であることもわかった。

なお白色の絹ねり糸（整練しただけで染色していないもの）でも大体同程度の帯電量を示すようであり、黒く染めたことの影響はあまりないものと思われる。

4. 正イオンによる絹糸上の負の静電気を除去する方法

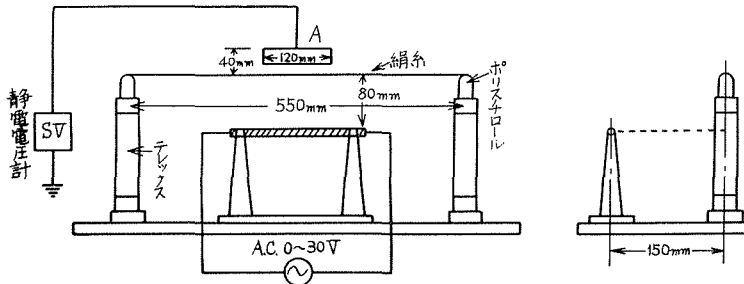
4.1. 絹糸が静止している場合^{(3)・(9)}

実験装置としては各種物質による絹糸の帯電状態をしらべるのに用いたもの（第4図に示したもの）を使用した。

(1) 炭化珪素質電気発熱体だけの場合

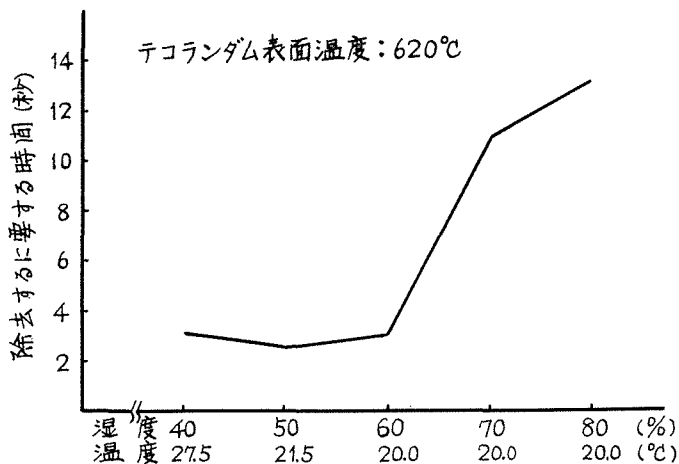
a. 実験装置と実験方法

実験方法は第5図においてテコランダムヒーターを絹糸から遠ざけておき、最初に鉄ま



第5図 テコランダムヒーターで静電気を除去する実験装置

たは亜鉛の板で絹糸を摩擦して静電電圧計の読みが 600V になるように帯電させる。つぎに電圧を印加して赤熱させたテコランダムヒーターを図に示す位置にもってき、静電電圧計の読みが零になるまでの時間を測定した。なおこのとき実験を行う部屋の湿度も変えて



第6図 テコランダムヒーターによる静電気除去時間

みた。湿度を変化したとき温度を一定にしたかったが、部屋の湿度調節機の都合上低湿度の方で幾分温度が上昇した。

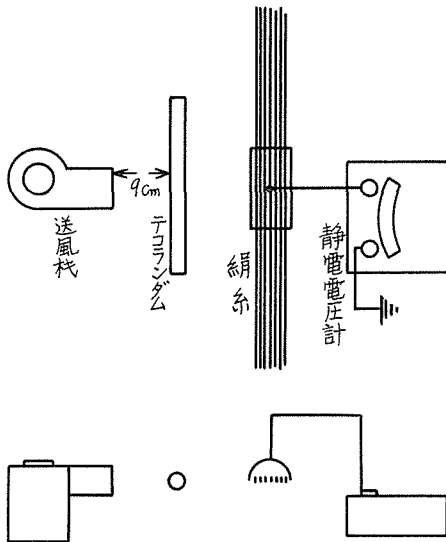
b. 実験結果

第6図にこの実験結果の一例を示した。図の縦軸は静電電圧計の読みが零になるまでの時間をとった。この場合ヒーターから放出される正イオンが、静電電圧計に接続された電

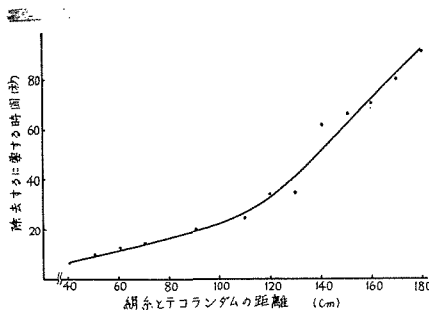
極に直接あたって電圧計の指針をふらせる可能性もある。もしそうだとすれば静電電圧計の読みが零になったときが必ずしも絹糸上の電荷がなくなったときとは考えられない。しかし、これは第5図の配置で絹糸を取り除いてテコランダムヒーターを熱しても、静電電圧計の指針はほとんど動かないので、テコランダムヒーターから放出された正イオンが電極に直接あたることはないと考えられ、電圧計の読みが零になるまでの時間は、そのまま絹糸の電荷を除去するに要する時間と考えてよいだろう。

湿度の低い方で静電気を除去するに要する時間が短いのは、大気中における水の分子の多少により、ヒーターから放出される正イオンの易動度が違うことによるものと考えられる。

(2) 送風機を併用した場合



第7図 テコランダムヒーターと送風機を組合せて静電気を除去する装置



第8図 テコランダムヒーターと送風機を用いたときの静電気除去時間

第7図のように絹糸、テコランダムヒーター、送風機を配置する。絹糸を鉄または亜鉄の板で摩擦して静電電圧計の指針をふらせる。テコランダムヒーターには規定の交番電圧を印加して赤熱（表面温度：620℃）させておき、送風機を回転させればテコランダムから放出される正イオンは、風と共に絹糸にふきつけられて絹糸上の負の電荷が中和されることになる。

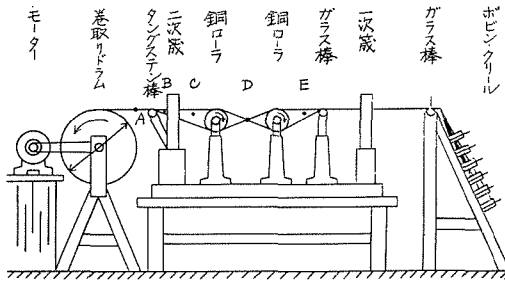
テコランダムヒーターと絹糸との距離を変化して、摩擦により絹糸の表面に発生させた負の電荷の消失する時間を測定した一例を第8図に示した。この場合テコランダムヒーターと送風機の距離は9cmで一定とし、また送風機の風量は1000l/minである。送風機を用いない場合はヒーターと絹糸間が140cm以上はなれば、長時間放置してもほとんど電荷の消失することはない、送風機を用いることは効果的である。

4.2. 絹糸を動かした場合

前節においては絹糸が静止している状態での実験についてのべたが、ここでは絹糸が動いているときにどうすればよいかについて行った実験についてのべる。

(1) 絹糸を動かす装置

第9図にこの装置の概要を示した。実際に用いられる整経機で一番静電気が問題となるのは、巻わくの直前のおさで摩擦され帯電することである。したがって整経機の模型ともいふべきものを作って、巻わく直前の所でも実験を行うことにした。



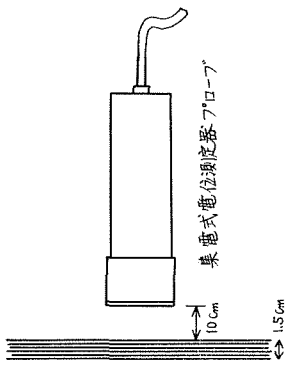
第9図 実験用整経装置

絹糸は図の右から左へ走ることになり、右端のホビン・クリールから走行が開始される。つぎに一次おさと二次おさの間で絹糸をのべることになる。実際の装置ではこの間に種々のローラやあや棒があるが、この実験装置では図に示したように非常に簡単にした。二次おさの先のあや棒にはタングステン棒を用いたが、これは前に述べたように絹糸と摩擦

したとき静電気を発生させることが少ないからである。二つの銅のローラは帯電した電荷を漏れさせると同時に絹糸がからまらないようにローラ間で糸が交互になるようにした。

一番左側に巻わくがあるがこれは電動機とベルトがけで回転させて絹糸をまきとるようにした。実際の装置では糸は 300 本前後であるがこの装置では 20~30 本を使用した。また糸の速さは 100m/min 程度とした。

(2) 静電気の測定法



第10図 絹糸の静電気測定位置

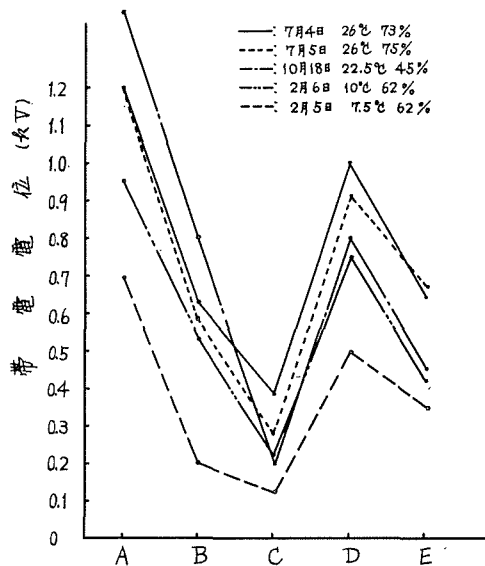
A点: - 1.1 kV,
B点: - 0.6 kV,
C点: - 0.4 kV,
D点: - 0.8 kV,
E点: - 0.5 kV,
温度: 10~26°C,
湿度: 45~75%

前述したように実際に問題になるのは巻わくに巻とる前の A 点なので、以下では A 点の帯電を除去することについて考えることにした。

集電式電位測定器⁽⁶⁾を用い、第10図のように絹糸から 10cm の位置の電位を測定して比較することとした。すなわち電位を比較することで静電気の大小をしることにした。

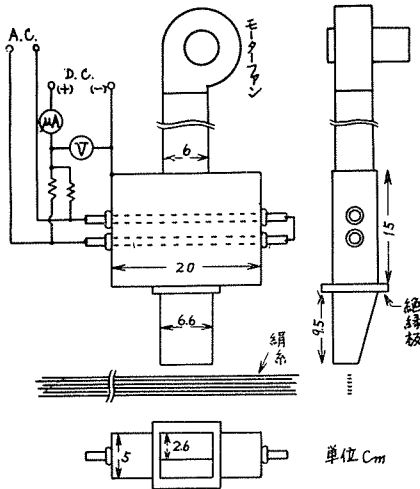
(3) 模型整経装置各部に発生する静電気

第9図に示した A, B, C, D, E 点の電位を測った結果は第11図のようになりその傾向がにているので、一応平均をとってみるとつぎのようになる。



第11図 模型装置各部に発生する静電気

(4) テコランダムヒーターと送風機の配置



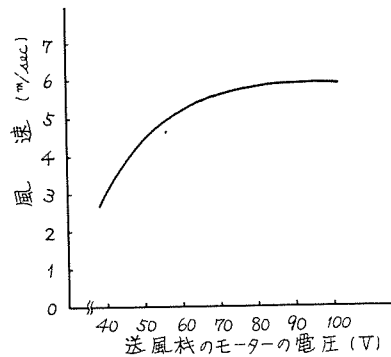
第12図

第13図に送風機のモーターの電圧を変化したときの風速の変化を参考のために示しておく。

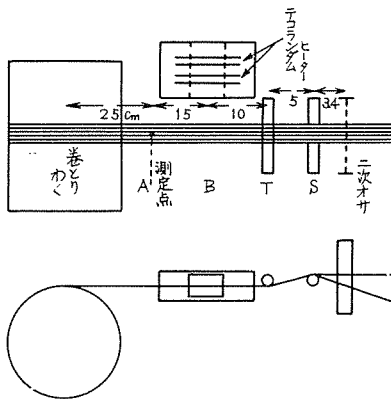
(5) テコランダムヒーターから正イオン放出させた場合とさせない場合の絹糸上の静電気

テコランダムヒーターと送風機を使用しない場合、すなわち正イオンによって絹糸上の負の静電気を除去しないと、テコランダムヒーターから正イオンを放出させて風で絹糸にふきつけて、静電気の除去を行った場合を比較した結果をつぎにのべる。

第12図のような配置にし、テコランダムヒーターから放出される正イオンを送風機で絹糸にふきつけ、絹糸上の負電荷を中和させる。テコランダムヒーターに対してトタン製の外箱に負の電圧を印加してあるが、これは放出された正イオンのうち風でふきとばされずに残ったものが空間電荷となり、ヒーターからつづいて正イオンが放出されるのをさまたげないようにするためのものである。



第13図 送風機のモーターの電圧と風速

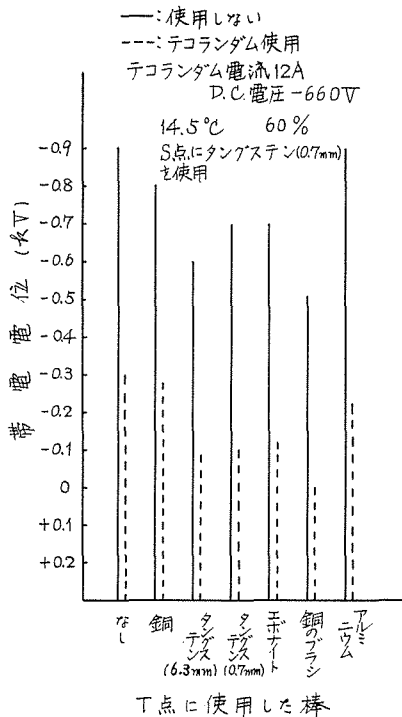


第14図

二次おさと巻とりわくとの間には第14図に示したように S 点と T 点に接地した棒をおき、いくらかでも絹糸上の静電気をこの棒から大地へ逃がすようにしてある。静電気の測定は第14図の測定点に集電式電位計のプローブをおいて電位を測定し、各々の場合の電位の比較を行った。

S 点に直径 0.7 mm のみがいたタングステン棒をおき、 T 点に銅やタングステンやエボナイト等の棒をおき、 B 点で正イオンをふきつけ、 A 点で電位を測定した結果を第15図に示した。

トタン製の外箱にかけた電圧は -660V であり、温度は 14.5°C 、湿度は 60% であった。



第15図 テコランダムヒーターを使用したときとしないときの絹糸の帯電電位

ンによる空間電荷の影響が取り除かれるためである。

外箱に負の電圧を印加したときのような絹糸の帯電電位 ± 0.1 kV 程度では、実際の作業上ではほとんど問題とならず、この装置程度の絹糸の本数、走行速度では静電気の障害はほぼ解消したと考えてもよいだろう。

5. むすび

炭化珪素質電気発熱体から放出される正イオンについてしらべた結果、放出される正イオン電流は長時間安定であり、相当大きな電流値を示すことが判明した。

また、この正イオンを使用して、絹糸上に帯電した負の静電気を除去することを中心、送風機と組合せることにより相当程度の効果をあげうることを確めた。しかし、この方法はヒーターを使用しているの、可燃性物質に対して用いるときには十分の注意が必要である。

その他正イオンの別の応用としては、ビニール製品やゴム製品等のピンポールの検出に

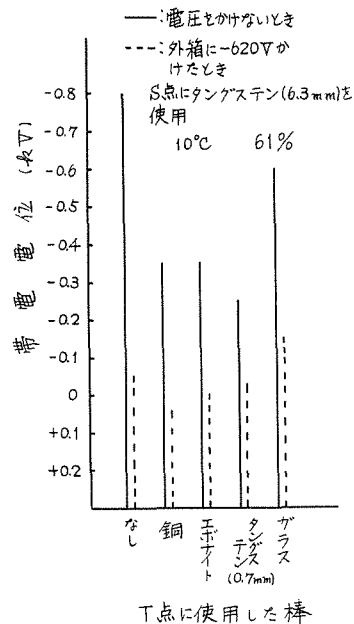
この結果ではテコランダムヒーターからの正イオンにより絹糸上の静電気が有効に除去されていることがわかる。

(6) テコランダムヒーターの発熱部をおおってある外箱に負の電圧を印加した場合としない場合の絹糸上の帯電

テコランダムヒーターの発熱部をおおってあるトタン製の外箱に負の電圧を印加したときの絹糸上の電位と、外箱に電圧を印加しないときのそれを比較してみた。測定は前項と同じ場所に電位計のプローブをおき電位を測った。

その結果を第16図に示したが、外箱に負の電

圧をかけることはきわめて有効である。これは前述したようにテコランダムヒーターから放出される正イオ



第16図 テコランダムヒーターの外箱に電圧を印加したときとしないときの絹糸の帯電電位

も使えるのではないかと考え目下検討中である。

なおこの研究にあたっては産業研究所より研究費の補助をうけた。最後に、この実験に対し熱心に協力された卒研学生林壮一郎、市川康夫、斎藤隆義の三君に感謝する。

文 献

- (1) 星合，島村：電子とその作用，p.115，オーム社
- (2) 小池，柴田：二三の気体中における加熱白金の正イオン放射，電学誌，**75**，260，（昭30）。
- (3) 庄田，斎藤：簡単な正イオン源について，第7回静電気研究発表会，（昭37）。
- (4) 斎藤，庄田，福田，斎藤，青木：絹ねり糸作業中における静電気障害防止について，電気関係学会東北連大，13B-3，（昭35）。
- (5) 大住：力織準備機構学，上巻，p.200，p.307，丸善。
- (6) 木脇，佐久間：電試彙，**19**，848，（1955）。
- (7) 高田，庄田：飛粉末による絶縁物の帯電現象．山形大学紀要（工学），**5**，321，（昭34）。
- (8) D. G. A. Thomas : British T. App. Phys. Supp., No. 2, 55, (1953).
- (9) 庄田，斎藤：絹糸の静電気障害防止について．電気関係学会東北連大，13A-20，（昭36）。

On the Simple Positive Ion Source and Its Applcation

Shin-ichi SHODA, Juryo SAITO

Department of Electrical Engineering,
Faculty of Engineering

This is a report on some experimental results of the measurement of the positive ion emission currrent from the electric heater which is made from SiC, and the application of the positive ion to the neutralization of negative charge.

The positive ion emission current from SiC heater has much value and good stability for some considerable hours.

Electrification on the silk yarn, turns to almost negative polarity, when the warping machine of the silk yarn operates. Therefore, some attempts have been made to neutralize the negative charge on the silk yarn by the positive ion emission from SiC heater. Thus, it has been made clear that the satisfactory result can be obtained by using the combination of the SiC heater and the electric fan.